



PS1 – S3-12



Предотвращение аварий в электроэнергетических системах за счет прогнозирования повреждений электроустановок

К.И. НИКИТИН, М.М. САРЫЧЕВ

Омский государственный технический университет

Россия

nki@ngs.ru; nki@omgtu.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Прогнозирующая защита, срок службы изоляции, бестоковая пауза, перерыв питания, автоматическое включение резерва.

1 ВВЕДЕНИЕ

Особенности современной электроэнергетики таковы, что для мощных электроустановок ее трудно накопить на время аварийной ситуации. Поэтому для осуществления бесперебойного питания потребителей электроэнергией при одностороннем питании широко используются устройства автоматического включения резерва (АВР). При отключении выключателя или исчезновении напряжения на шинах потребителя срабатывает АВР, включающее потребителей на резервный источник питания, или включая выключатель, на котором до этого осуществлялось деление системы [1]. Пуск АВР осуществляется либо вспомогательными контактами выключателя рабочего питания, либо специальными пусковыми органами. При этом АВР должна срабатывать только после отключения рабочего источника, чтобы предотвратить включение на неустранившееся короткое замыкание (КЗ). Вследствие этого имеется бестоковая пауза в питании потребителей. Бестоковая пауза в сочетании с понижением напряжения приводит к тяжелому самозапуску потребителей. В некоторых случаях по условиям технологического процесса потребителя приходится использовать быстродействующие АВР, более дорогие и требующие использования быстродействующих выключателей. Особенно в случаях синхронной нагрузки. Часто после АВР приходится заново осуществлять пуск двигателей.

Использование прогнозирующей защиты позволяет исключить понижение напряжения и бестоковую паузу, включив сначала резерв, а затем отключив рабочий источник питания.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Цель

Предлагается использование прогнозирующей (опережающей) защиты с целью исключения бестоковых пауз, повышения устойчивости электроснабжения при отказе от самозапусков и устранения динамических воздействий КЗ.

2.2 Теоретические предпосылки

В электроэнергетике энергия передается по ЛЭП. Основными ее элементами являются проводник и изоляция. Период износа проводников считается значительно большим, чем срок службы изоляции. Поэтому изоляция определяет срок службы ЛЭП. Если в воздушной ЛЭП изоляторы могут быть заменены с использованием прежних проводников, то кабельную ЛЭП приходится менять всю или по наиболее изношенным участкам.

Процессу старения изоляции посвящено довольно много работ [2, 3, 4]. В [5] приведен перечень наиболее важных факторов воздействия и режимов работы изоляции и оборудования:

- Термический фактор воздействия (Т)
- Электрический фактор воздействия (Е)
- Фактор воздействия окружающей среды (А)
- Механический фактор воздействия (М)
- Ожидаемая эксплуатационная характеристика (Р)
- Режим - способ работы оборудования (Д)

Одним из основных воздействующих факторов является тепловое (термическое) воздействие. Его влияние на изоляцию описывается законом Аррениуса:

$$K_t = K \cdot e^{-W_a / (kT)}, \quad (1)$$

где K_t – средняя вероятность распада одной молекулы в единицу времени, определяющая скорость химических реакций, K – постоянная, зависящая от структуры веществ, вступающих в реакцию; W_a – энергия активации; k – постоянная Больцмана.

В [2] предложена зависимость, которая позволяет вычислить срок службы τ_{cl} конкретного изоляционного изделия в зависимости от нескольких воздействующих факторов - температуры T , напряженности электрического поля E , механического напряжения σ :

$$\tau_{cl} = \tau_0 \exp \left(\frac{D_1 - Ae^{-bT} \sqrt{E^2 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon G_M}} \ln \frac{2D_1 e}{Ae^{-bT} \sqrt{E^2 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon G_M}}}}{2kT} \right), \quad (2)$$

где

$$Ae^{-bT} = \frac{aeM\sqrt{\varepsilon G_M}}{3,2N\rho \left(1 - \frac{2m}{m_u}\right)}$$

и D_1 – энергия диссоциации связи; G_M – модуль упругости; ε – параметр, зависящий от природы полимера и условий испытаний; N – число Авогадро; m – молекулярная масса конца цепи, способной к проскальзыванию не воспринимая механической нагрузки; m_u – молекулярная масса цепи полимера; a – характеристика кривизны зависимости потенциальной энергии воздействия соседних атомов цепи полимера от межатомного расстояния.

Кроме учета анализа физических процессов разрушений изоляции, авторами был проведен статистический анализ [6] более чем 2500 отказов (рис. 1) КЛЭП на основании данных «Омскэлектро» за три года.

Так как полная информация о причинах повреждений, длине и типе кабеля, времени безаварийной работы обычно отсутствует, то анализ пришлось проводить без этих данных. Учитывалась сезонная компонента и ежемесячный уровень осадков. Анализ осуществлялся при помощи спектрограммы Фурье, с предварительным определением тренда.

После вычисления величины сезонной компоненты и расчета ошибок, была построена модель прогнозирования:

$$F = T + S \pm E, \quad (3)$$

где F - прогнозируемое значение число повреждений; S - сезонная компонента, $S = -5,801 \cdot M^2 + 81,214 \cdot M - 232,04$; T – тренд, $T = 58,143$; $S = -5,801 \cdot M^2 + 81,214 \cdot M - 232,04$, M – номер месяца года; E - ошибка модели, $E = \pm 11,5$. Реальное значение числа повреждений – 106. Несмотря на то, что объем статистических данных недостаточно из-за малого временного интервала наблюдений, и погрешность расчета составляет более 6 %

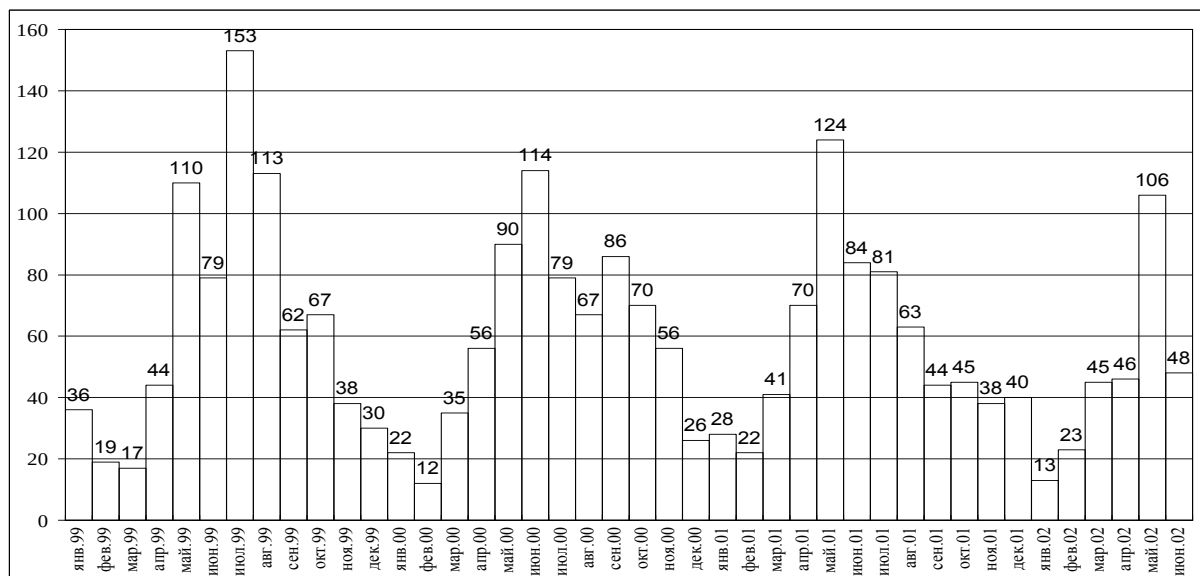


Рис. 1: Исходный временной ряд, представляющий собой табулированное помесечно значение числа повреждений КЛЭП за период январь 1999 г. - июнь 2002 г.

2.3 Прогнозирующая защита

Учитывая вышеприведенные факты и зависимости была предложена прогнозирующая защита [7] структурная схема которой изображена на **рис. 2**.

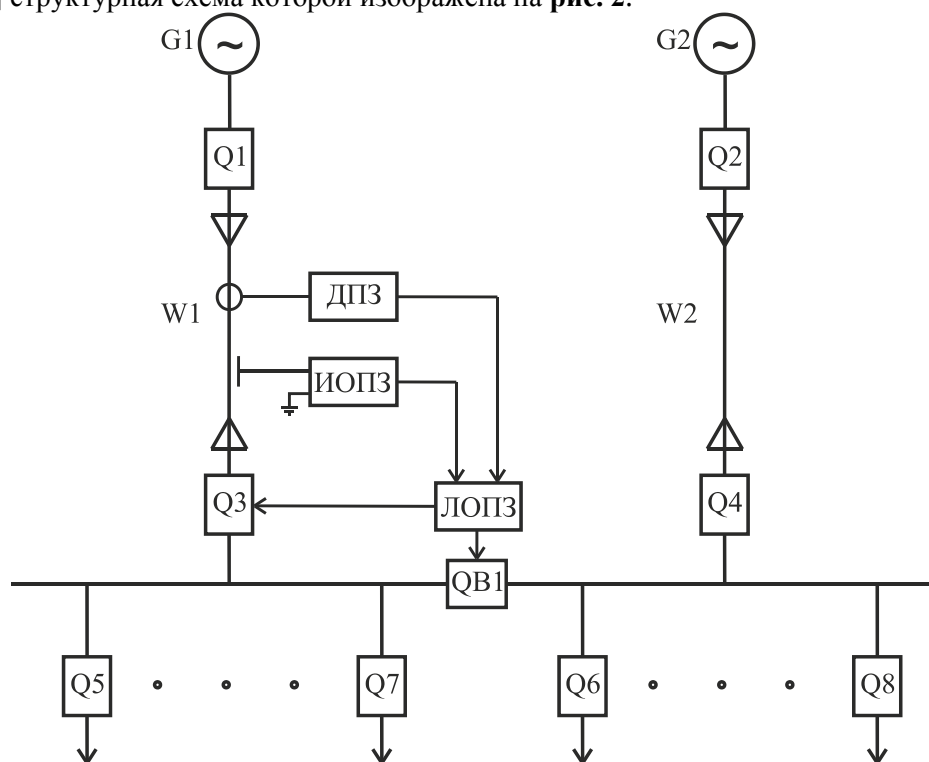


Рис. 2: Структурная схема устройства прогнозирующая защита

На структурной схеме: ИОПЗ – измерительный орган прогнозирующей защиты, ЛОПЗ – логический орган прогнозирующей защиты, ДПЗ – дополнительные датчики прогнозирующей защиты.

ИОПЗ измеряет сопротивление изоляции КЛЭП и при достижении критических параметров ЛОПЗ подает команду на включение резервного питания – секционного выключателя QB1, затем производится отключение выключателя рабочего питания Q3. Таким образом переключение производится без перерыва питания, что важно для некоторых видов потребителей, например синхронных двигателей. Для объективной информации в защите

желательно использовать дополнительные датчики – тока нагрузки, температуры, светового излучения (в случае прямого воздействия солнечного света на изоляцию), радиации и пр. Кроме того, для правильной работы в ЛОПЗ записывается продолжительность службы КЛЭП, текущее дата (сезон года) и время. Во время работы в памяти ЛОПЗ учитываются перегрузки, повышения внешней температуры и другие вышеуказанные параметры для вычисления износа изоляции кабеля.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Прогнозирующая защита измеряет и моделирует старение изоляции, что позволяет отключать КЛЭП до наступления повреждения.
2. Таким образом прогнозирующая защита срабатывает до повреждения, исключает перерыв питания, что особенно актуально для синхронной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Беркович М.А. Автоматика энергосистем: Учеб. для техникумов / М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. - 240с.
- [2] Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия, 1979.-224 с., ил.
- [3] Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков. - М.-Л.: Энергия, 1968. – 175 с.
- [4] Васин В.П., Долин А.П. Оценки выработанного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов. – Электро.-2009.- №2.- С 37-41.
- [5] ГОСТ 27905.1-88. Системы электрической изоляции электрооборудования. Оценка и классификация. (МЭК 505-75)
- [6] Коврижин Б.Н., Никитин К.И., Рыбин П.О. Прогнозирование отказов кабельных линий электропередачи / Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Электроэнергия и будущее цивилизации». – Томск: ТГУ, 2004. - С.83-84.
- [7] Головнев С.М., Никитин К.И., Сарычев М.М. Использование опережающей защиты для исключения перерывов питания электрооборудования / Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Энергоэффективность». – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – С. 29-32.